



TITLE:

生物の探索行動と建設行動のパターン形成アルゴリズムに関する研究(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

水元, 惟暁

CITATION:

水元, 惟暁. 生物の探索行動と建設行動のパターン形成アルゴリズムに関する研究. 京都大学, 2018, 博士(農学)

ISSUE DATE:

2018-03-26

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k21134>

RIGHT:

学位規則第9条第2項により要約公開

(続紙 1)

京都大学	博士（農学）	氏名	水元 惟暁
論文題目	生物の探索行動と建設行動のパターン形成アルゴリズムに関する研究		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>群れ行動や歩行軌跡、活動リズムなど、生物の行動のもつ法則性は、時空間上に規則的なパターンを生じさせる。本研究では、このようなマクロレベルのパターンを生じさせる行動のメカニズムと、その進化プロセスについて明らかにすることを目的として、シロアリの配偶者探索および集団建設行動に関する行動アルゴリズムの解析を行った。本論文は以下のように要約される。</p> <p>第1部では、配偶者探索において、遭遇効率を高めるためにオスとメスはどのように行動するのが最適か、理論と実証の両面から検証した。第2章と第3章では、数理モデルを用いて、雌雄が互いの位置情報をもたない場合の探索における、最適な動きのパターンを求めた。様々な動きのパターンの探索効率を比較したところ、限られた探索時間の中では、雌雄が異なる動き方で探索すると最適な戦略になり得ることを発見した。また進化シミュレーションを行い、雌雄で異なる動きのパターンを持つ集団が、一様な動きのパターンを持つ集団から生じることを示した。特に、局所的に有効な誘引シグナルが用いられる条件下では、シグナルを送信する側の性が、受信する側の性よりも、移動範囲を狭めることで遭遇効率が上がることを明らかにした。第4章では、シロアリを用いた行動実験により、上記の配偶者探索に関する理論予測を検証した。シロアリの歩行による配偶者探索において、一度ペアになったオスとメスがはぐれた場合に、メスがその場にとどまり、オスが辺りを歩行探索するという行動パターンの性差が観察された。また、シミュレーションにより、歩行パターンの性差が再遭遇確率の上昇に寄与することを示した。第5章では、微小昆虫の自由歩行行動を計測する上で、サーボスフィア（球上運動補償装置）が有用であることを示した。</p> <p>第6章と第7章では、ペア形成に失敗したシロアリの探索行動を観察し、シロアリの配偶者探索行動に概日リズムがあることを明らかにした。全暗条件においても、探索行動に概日リズムが検出されることから、シロアリにおける体内時計の存在が示唆された。更に、配偶者探索の概日リズムとシロアリの群飛時刻との関係を調べ、シロアリは一日のうち最も遭遇効率が高くなる時間帯に集中して探索することを示した。第8章では、コロニー内での群飛の同調において、環境要因だけでなく個体間の相互作用が重要であることを明らかにした。第9章では、シロアリの配偶者探索にかかるコストを調べた。配偶者探索を数日間行った後にコロニーを創設した個体は、群飛後すぐにコロニーを創設した個体と比べ、創設成功率が減少した。また探索を行った個体はペア形成を積極的に行うことから、探索のコストは配偶者選択の基準を緩和させることが示唆された。第10章では、シロアリのオス同士によるペア形成の適応的意義を明らかにした。メスと遭遇できなかったオスは、オス同士でペアを形成することで、単独でいるよりも生存率を上げ、他のコロニーへの侵入により繁殖機会を得ることが観察された。また、数理モデルにより、このような同性ペアによる協力行動が、高い被食リスクのもとでは適応的であることを示した。</p> <p>第2部では、単純な行動アルゴリズムと個体間の局所的な相互作用から、複雑な構</p>			

造物の建設を可能にする自己組織化システムに着目し、シロアリの集団による構造物建設のメカニズムとその進化プロセスについて調べた。第11章では、ヤマトシロアリの蟻道建設行動において、同一環境下での蟻道形成パターンをコロニー間で比較した。その結果、同コロニー由来の集団は似た構造を作る一方、由来コロニーが異なれば構造も大きく異なるというコロニー特異性を発見した。第12章では、建設行動を模した格子モデルの解析により、蟻道形成パターンの種内変異を引き起こすメカニズムについて調べた。異なる集団サイズで建設された構造物とシミュレーションの結果を比較することで、構造物の種内変異は、行動アルゴリズムの変化ではなく、建設に用いられるフェロモンに対する感受性の変化により生じることが示唆された。第13章では、コロニーの成長に伴い生じる有翅虫生産と、蟻道建設行動との間に負の相関があることを明らかにした。この結果から、構造物の種内変異は、コロニーの成長段階を反映したものであることが示唆された。第14章と第15章では、下等シロアリの蟻道建設行動について文献調査と行動実験を行い、集団建設行動の進化プロセスを考察した。先行研究における、自然環境下において蟻道建設が見られない祖先的な生活史形質を持つ種も実験室では蟻道を建設するという観察をもとに、これらの種も様々な構造物を形成できる行動アルゴリズムを持つ可能性を指摘した。実際に、自然環境下では蟻道建設が見られないネバダオオシロアリの壁建設行動ダイナミクスを解析し、この行動に自然環境下で蟻道を建設する種と類似した行動アルゴリズムが関与することを見出した。これらの結果から、シロアリの進化に伴う構造物の多様化は、共通した建設行動アルゴリズムのパラメーターチューニングによってもたらされたことが示唆された。

第16章では、本研究の総合考察として、動物行動学における構成的アプローチの役割と、理論研究と実証研究の連携の重要性を示した。

注) 論文内容の要旨と論文審査の結果の要旨は1頁を38字×36行で作成し、合わせて、3,000字を標準とすること。

論文内容の要旨を英語で記入する場合は、400～1,100 wordsで作成し
審査結果の要旨は日本語500～2,000字程度で作成すること。

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

生物の行動が生み出す、時空間的にマクロなスケールのパターンは、その複雑さの割には、単純な行動規則から生じる。本研究は、生物の探索行動と建設行動の2つの行動に着目し、理論研究とシロアリを用いた実証研究を組み合わせることによって、マクロレベルのパターンを生じさせる行動メカニズムと、その進化プロセスについて新たな知見を得たものである。本研究の評価できる点は、以下の通りである。

1. 配偶者探索における、オスとメスの最適な動きのパターンについて、数理モデルとシミュレーションを用いて解析し、雌雄で異なる動き方により探索を行うことが最適な戦略になる条件を明らかにした。また、シロアリを用いた行動実験を行い、歩行パターンの性差が遭遇率の上昇に寄与することを示した。
2. シロアリの配偶者探索行動に、概日リズムがあることを明らかにした。また、探索時の捕食圧が高い状況において、オス同士がペアを形成して生存率を高めるといふ、同性でのペア行動の新たな適応的意義を解明した。
3. ヤマトシロアリの集団が作り出す蟻道のパターンを定量し、同一環境下で建設される構造物に、コロニー間変異があることを明らかにした。また、建設行動を模した格子モデルを構築し、実験結果とシミュレーション結果を比較することによって、構造物の種内変異を引き起こすメカニズムについて明らかにした。
4. 祖先的な生活史形質を持つ種であるネバダオオシロアリの壁建設行動を解析し、特定の建設行動アルゴリズムが、シロアリの進化プロセスを通して保存されている可能性を示した。

以上のように、本論文は、数理モデルとシロアリを用いた行動実験により、生物の探索行動と建設行動における様々なパターンの創発メカニズムを明らかにするとともに、動物行動の進化プロセスに関する新たな知見を提供するものであり、昆虫生態学、動物行動学、進化生態学、社会生物学の発展に寄与するところが大い。

よって、本論文は博士（農学）の学位論文として価値あるものと認める。

なお、平成30年1月19日、論文並びにそれに関連した分野にわたり試問した結果、博士（農学）の学位を授与される学力が十分あるものと認めた。

また、本論文は、京都大学学位規程第14条第2項に該当するものと判断し、公表に際しては、当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。

注) 論文内容の要旨、審査の結果の要旨及び学位論文は、本学学術情報リポジトリに掲載し、公表とする。

ただし、特許申請、雑誌掲載等の関係により、要旨を学位授与後即日公表することに支障がある場合は、以下に公表可能とする日付を記入すること。

要旨公開可能日： 年 月 日以降（学位授与日から3ヶ月以内）